

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 11 日 (11.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/097489 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 13/00, G06F 17/50
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005417
- (22) 国際出願日: 2004 年 4 月 15 日 (15.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-121817 2003 年 4 月 25 日 (25.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷二丁目 4 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 早川 和仁

(HAYAKAWA, Kazuhito) [JP/JP]; 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2 番地 3 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 本橋 勝実 (MOTOHASHI, Katsumi) [JP/JP]; 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2 番地 3 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 加藤 茂 (KATO, Shigeru) [JP/JP]; 〒1928512 東京都八王子市久保山町 2 番地 3 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).

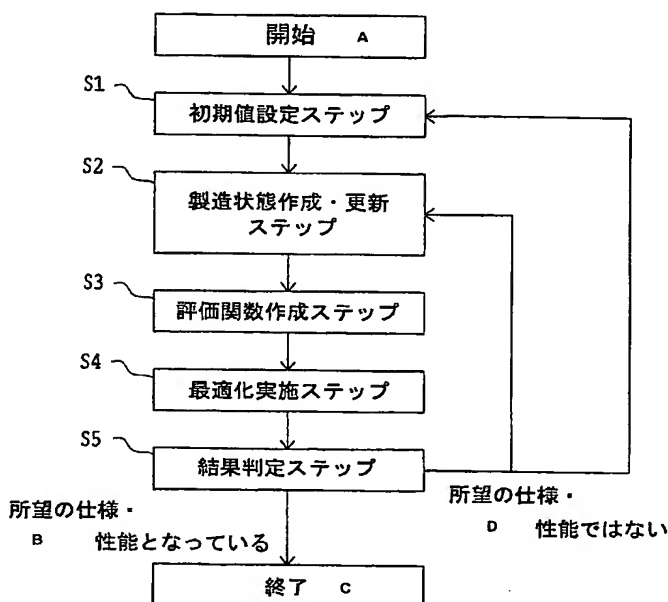
(74) 代理人: 篠原 泰司 (SHINOHARA, Taiji); 〒1020074 東京都千代田区九段南三丁目 7 番 1 4 号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF DESIGNING OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 光学系の設計方法



A...START
S1...INITIAL VALUE-SETTING STEP
S2...PRODUCTION STATE-PREPARING/UPDATING STEP
S3...EVALUATION FUNCTION-PREPARING STEP
S4...OPTIMIZATION-EXECUTING STEP
S5...RESULT-DETERMINING STEP
B...IN ACCORDANCE WITH DESIRED SPECIFICATIONS/PERFORMANCE
C...END
D...NOT IN ACCORDANCE WITH DESIRED SPECIFICATIONS/PERFORMANCE

(57) Abstract: A method of designing an optical system has an initial value-setting step (S1) for setting optical parameter in a design state where a production error is not considered, a production state preparing/Updating step (S2) for preparing parameter, as optical parameter in a production state, by adding a production error to the optical parameter in a design state or for updating a production error of optical parameter in an existing production state, an evaluation function-preparing step (S3) for preparing an evaluation function, and an optimization-executing step (S4) for optimizing the evaluation function and obtaining optimum optical parameter.

(57) 要約: 本発明の光学系の設計方法は、製造誤差を考慮しない設計状態での光学パラメータを設定する初期設定ステップ (S1) と、設計状態での光学パラメータに製造誤差を加えたものを製造状態での光学パラメータとして作成し、あるいは、既存の製造状態での光学パラメータの製造誤差を更新する製造状態作成更新ステップ (S2) と、評価関数を作成する前記評価関数作成ステップ (S3) と、評価関数を最適化して最適な光学パラメータを求める最適化実行ステップ (S4) を有する。



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が
可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG,
KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光学系の設計方法

技術分野

本発明は、光学系の設計方法に関し、特に、コンピュータなどの設計処理装置での実行に好適な光学系の設計方法に関する。また、光学系の設計プログラムを記録した記録媒体、及び、光学系の設計方法ないし光学系の設計プログラムを用いて設計した光学系及び光学装置に関する。

背景技術

従来、光学系の設計方法においては、最急降下法、共役勾配法、最小二乗法などが利用されている。これらの方法は、いずれも最適化手法と呼ばれるもので、複数の変数を有する評価関数が用いられる。

これらの最適化手法を光学系の設計に用いた場合、評価関数の変数に相当するのが、例えば、収差等の評価パラメータ（あるいは評価項目）である。この評価パラメータは、光学作用面の曲率半径、面間隔、及び、屈折率等といった光学系の光学パラメータ（あるいは構成要素）の値に基づいて算出される。よって、光学系の光学パラメータの値を変化させると評価パラメータの値が変化し、評価パラメータの値が変化すると評価関数の値が変化する。

そこで、光学系の光学パラメータの値を徐々に変化させて、評価関数の最適値（例えば、最小値や極小値）を求める処理を行う。

このようにして、評価関数の最適値が得られると、そのときにおける光学系の各光学パラメータの値の組み合わせが最適な光学系を表すことになる。この結果、設計者の意図に最も近い光学系の光学パラメータの値が得られる。なお、評価関数の最適値を求める際には、同時に評価パラメータも所望の目標値へと近づける処理を行う。

このように、光学系の設計では、評価関数が最適値となり、かつ、評価パラメータが目標の許容範囲内に到達するような、光学系の光学パラメータを求める。

上述のように、従来、評価関数を用いた光学系の設計に際しては、基本的な変数として、光学作用面の曲率半径、面間隔、及び、屈折率等の光学パラメータを用いるのが一般的である。

しかしながら、従来の光学系の設計では、これらの光学パラメータに製造誤差の影響などを加味していなかった。このため、得られた光学系の光学パラメータの値は、必ずしも光学系の製造が容易な値になるとは限らなかった。このように、従来では製造が容易となる光学系の工学パラメータの値の組み合わせを簡単に得ることは難しかった。

例えば、製造誤差による光学系の性能の変化が少なくなるようにするために設計値に若干の修正を加えたり、最適化の変数の数に制限をかけるなどしていた。この修正や制限は、設計者自身の手作業によって行なわれている。この手作業は、コンピュータで得た設計値や、設計者の経験や知識といったノウハウなどに基づいて行なわれる。

このため、従来の光学系の設計方法では、コンピュータの計算速度の向上にもかかわらず、多くの人手と時間を必要とし、効率的な光学系の設計を行なうことができなかった。

また、製造誤差による性能の変化を小さく抑え、且つ、設計性能が所望の値となるような最適な光学系の設計値を得ることは難しかった。

しかるに近年、光学系の新たな設計方法が、例えば、特開平 11-30746 号、特開平 11-223764 号、特開平 11-223769 号、特許第 3006611 号及び特開 2002-267926 号等に提案されている。

特開平 11-30746 号及び特開 2002-267926 号に開示されている方法では、光学群の偏心という製造誤差に注目している。しかしながら、これらの方法では、偏心以外の製造誤差が大きく影響するような光学系に適用するには問題がある。

また、特開平 11-223764 号及び特開平 11-223769 号に開示されている方法では、誤差のない状態での性能指標に注目している。そして、この誤差のない状態での性能指標を製造誤差の影響を計る尺度としている。そのため、注目している性能指標と製造誤差による性能の変化との因果関係を直感的には把握しく

い。これは、設計の効率化という観点で問題がある。

また、特許第 3 0 0 6 6 1 1 号で開示されている方法では、製造誤差による性能の変化を知るために、設計段階から意図的に製造誤差を付与した製造状態を作って光学性能を求めている。そして、最適化に用いる設計方法の評価パラメータとして、設計段階での光学性能に加えて、製造状態での光学性能を付与している。しかし、この方法では、設計段階から意図的に製造誤差を付与するにあたって、光学系を構成する数多くの光学パラメータ（光学作用面の曲率半径、レンズ肉厚、空気間隔、屈折率等）のそれぞれに対して、設計者が製造誤差を付与していくことになる。そのため、大変な手間がかかる上、入力の間違いなどを招き易いという問題がある。また、設計者が自由に製造誤差を与えていくため、設計者個々の能力（ノウハウ）に左右されることになる。

したがって、本発明の目的は、製造誤差による性能の劣化が生じ難い光学系の設計を、効率良く行なうことが可能な光学系の設計方法を提供することにある。

発明の開示

上記の目的を達成するため、本発明による光学系の設計方法は、評価関数を用いる光学系の設計方法において、製造誤差を考慮しない設計状態での光学パラメータを設定する初期値設定ステップと、設計状態での光学パラメータに製造誤差を加えたものを製造状態での光学パラメータとして作成し、あるいは、既存の製造状態での光学パラメータの製造誤差を更新する製造状態作成・更新ステップと、評価関数を作成する前記評価関数作成ステップと、評価関数を最適化して最適な光学パラメータを求める最適化実行ステップを有する。

また、本発明による光学系の設計方法は、前記製造状態作成・更新ステップにおいて、製造誤差量取得要件に応じ、あらかじめ設けておいた誤差量テーブルの値に基づいて、付与すべき製造誤差の量を取得し、この誤差量を設計状態での光学パラメータに付与し、新たに製造状態での光学パラメータを作成する、あるいは、設計状態での光学パラメータの変化に伴い、既存の製造状態での光学パラメータに付与済みの誤差量の値を更新するようにしている。

また、本発明による光学系の設計方法は、前記評価関数作成ステップにおいて、前記評価関数の評価パラメータに加えて、前記設計状態と製造状態の光学性能に基

づいて求められる製造誤差感度パラメータを評価パラメータとして少なくとも1つ含んでいる。

本発明の光学系の設計方法によれば、コンピュータで実行するのに好適で、諸収差などが補正され、製造誤差による光学系の性能の変化が発生しにくくなるようにして光学系の設計を効率よく行うことができる。

本発明の上記以外の目的、特徴及び利点は、添付図面を参照して以下の詳細な説明により明かになるであろう。

図面の簡単な説明

図1は本発明の光学系の設計方法の第1実施例にかかる設計手順の全体を示すフローチャートである。

図2は本発明の光学系の設計方法の第2実施例にかかる最適化実施ステップの具体的な処理手順を示すフローチャートである。

図3は本発明の光学系の設計方法の第3実施例にかかる製造状態作成・更新ステップの具体的な処理手順を示すフローチャートである。

図4は本発明の光学系の設計方法の第4実施例にかかる製造誤差作成・更新ステップの具体的な処理手順を示すフローチャートである。

図5は本発明の光学系の設計方法を実施するための処理装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態の説明に先立ち、本発明の光学設計で用いる2つの異なる状態について説明する。

光学系の初期設計の段階においては、光学系を構成する光学作用面の曲率半径、レンズ肉厚、空気間隔等の光学パラメータは、一般に、現実の光学系が全く誤差なく製造できた場合のみを想定している。本発明では、誤差のない理想的な光学系の状態を設計状態と呼ぶ。この設計状態は、所定の光学パラメータで構成されている光学系の状態である。そして、この所定の光学パラメータとは、製造誤差が生じないという前提で得られた光学パラメータである。

一方、現実の光学系では、製造誤差によって、光学系を構成する光学パラメータの値は設計状態とは異なる値となる。そのため、光学系の性能が設計状態での性能

と異なることがある。よって、設計状態での性能と異なる性能を、設計段階において考慮する必要がある。そのために、設計状態での光学パラメータのうち、少なくとも1つの光学パラメータに、製造誤差を付与する。このようにして、設計状態から僅かに光学系の構成を変更した状態を設定する。本発明では、この状態を製造状態と呼ぶ。

製造状態では、現実の製造誤差が全て再現できるようにするのが望ましい。すなわち、設計状態での光学パラメータに、全ての誤差を付与することが理想的である。しかしながら、分布を持つ誤差全てを網羅的に付与（再現）することは非現実的である。そこで、光学パラメータに付与する誤差量 δ として、現実の製造能力に即した代表値を用いる。付与する誤差は、特定の光学パラメータ A に対して、 $A + \delta$ と $A - \delta$ の2通りが考えられる。

誤差量 δ が微小である場合、誤差による性能の変動はほぼ線形性を保つと考えられる。よって、付与する誤差量は $A + \delta$ 、あるいは、 $A - \delta$ のいずれか一方でよい。もちろん、 $A + \delta$ と $A - \delta$ の両方を付与すれば、より正確な誤差の影響を考慮できるようになることは言うまでもない。

また、製造状態の作成には、以下の2つが考えられる。1つは、1つの光学パラメータに1種類の製造誤差を付与して、1つの製造状態を作成する場合である。その例を以下に示す。ここで、 a 、 b 、 c 、 d は、それぞれ種類が異なる製造誤差である。

製造状態 A = 設計状態における光学パラメータ A + 製造誤差 a

製造状態 B = 設計状態における光学パラメータ B + 製造誤差 b

製造状態 C = 設計状態における光学パラメータ C + 製造誤差 c

製造状態 D = 設計状態における光学パラメータ D + 製造誤差 d

例えば、光学パラメータ A が曲率半径の場合、製造誤差 a はニュートン本数である。また、光学パラメータ B がレンズの厚みの場合、製造誤差 b は厚み誤差である。

この場合、評価関数 F は、

評価関数 F （製造状態 A 、製造状態 B 、製造状態 C 、製造状態 D ）

となる。この場合は、個々の誤差による光学性能の変化を把握できるので、事象の解明に適している。

もう1つは、1つの光学パラメータに複数の種類の製造誤差を付与して、1つの製造状態を作成する場合である。その例を以下に示す。ここで、 a 、 a' 、 b 、 c 、 d は、それぞれ種類が異なる製造誤差である。

$$\begin{aligned}\text{製造状態 } X &= \text{設計状態における光学パラメータ } A + \text{製造誤差 } a + \text{製造誤差 } a' \\ &\quad + \text{設計状態における光学パラメータ } B + \text{製造誤差 } b \\ \text{製造状態 } Y &= \text{設計状態における光学パラメータ } C + \text{製造誤差 } c \\ &\quad + \text{設計状態における光学パラメータ } D + \text{製造誤差 } d\end{aligned}$$

例えば、光学パラメータ A が曲率半径の場合、製造誤差 a はニュートン本数で、製造誤差 a' はアスである。また、光学パラメータ B がレンズの厚みの場合、製造誤差 b は厚み誤差である。

この場合、評価関数 F は、

評価関数 F (製造状態 X ，製造状態 Y)

となる。この場合は、複数の光学パラメータに誤差が重なって生じる光学性能の変化を把握することができる。また、上述のように、個々の製造誤差の種類ごとに製造状態を作成する場合に比べて、製造状態の総数を少なく抑えることができる。

なお、いずれの方法を用いて製造状態を作成するかは、設計する光学系の仕様や誤差による影響の程度などで決まる。すなわち、設計者が自身の判断により、いずれかの方法を選択すれば良い。あるいは、両者の製造状態を作成し、それらを組み合わせた評価関数、例えば、評価関数 F (製造状態 A ，製造状態 X) などとして光学設計を行うこともできる。

次に、本発明の実施形態について、各ステップごとに説明する。

図1は、光学系の設計方法の一実施形態であって、設計方法のフローチャートである。本実施形態の光学系の設計方法は、初期値設定ステップ(ステップS1)と、製造状態作成・更新ステップ(ステップS2)と、評価関数作成ステップ(ステップS3)と、最適化実施ステップ(ステップS4)と、結果判定ステップ(ステップS5)を有している。

まず、初期値設定ステップ(ステップS1)について説明する。初期値設定ステップでは、設計者が設計状態での光学パラメータの値を設定する。この光学パラメータの値は、過去に設計された光学系の光学パラメータの値を用いることができる。

もしくは、光学設計を行なって新たな光学系を得て、その新たな光学系のデータに基づいて光学パラメータの値を設定してもよい。

次に、製造状態作成・更新ステップ（ステップS2）について説明する。このステップでは、設計状態での光学パラメータの値に対して、付与する誤差量を決定する。ここで、特徴となるのは、この誤差量が設計者が任意に決定できる性質の値ではなく、光学系の製造能力に基づいて決定された値になっている点である。

本実施形態では、この付与する誤差量を得るために、誤差量テーブルをあらかじめ準備しておく。この誤差量テーブルは、製造誤差取得要件に基づいて作成されている。また、この誤差量テーブルのデータの値は、製造能力などが加味されて決定されている。

なお本発明では、製造誤差取得要件とは、以下の3つを指す。

(1)付与すべき製造誤差の種類

例えば、ニュートン誤差（ニュートン本数）、アス、肉厚誤差、レンズ間隔誤差、シフト偏心、ティルト偏心等。

(2)設計状態における光学パラメータの種類

例えば、光学作用面あるいはレンズ面の曲率半径、レンズ肉厚、レンズ間隔、外径等。

(3)光学パラメータの値による条件

例えば、付与する誤差量が同一値となりうる光学パラメータの値の範囲を条件分けしたものである。ただし、(1)、(2)の条件だけで一意に誤差量が決まるといった、光学パラメータの数値条件を持たない場合もありうる。

例として、曲率半径の誤差量テーブルを表1に示す。ここでは、製造誤差の種類はニュートン誤差、アスである。また、光学パラメータは曲率半径である。また、光学パラメータ数値条件は5つに条件分けされており、各条件となる光学パラメータの値の範囲は次の表1のようにになっている。

表 1

	設計状態の曲率半径 r				
	$r < 10 $	$ 10 \leq r < 100 $	$ 100 \leq r < 500 $	$ 500 \leq r < 1000 $	$ 1000 \leq r$
ニュートン(本)	7	7	10	15	20
アス(本)	5	6	8	10	15
...

表 1 では、設計状態の曲率半径は、5つの数値区間で分けられている。そして、この数値区間の各々について、ニュートンの本数やアスの本数が設定されている。

本発明の光学系の設計方法では、この誤差量テーブルを参照して設計を行なう。すなわち、設計状態の光学パラメータの値に付与する誤差量を、この誤差量テーブルから取得する。続いて、取得した誤差量を設計状態の光学パラメータの値に付与して、新たに製造状態での光学パラメータの値を作成する。この場合、製造状態作成・更新ステップは、製造状態を作成するステップとなる。

もしくは、光学系の設計を進める途中で、新たな誤差量に変更することもできる。最初の製造状態で更に光学系の設計を行なうと、光学パラメータの値が変化する。例えば、曲率半径（光学パラメータ）の値が、最初の製造状態で90であったものが、120に変化したとする。この場合は、表1の誤差テーブルに基づいて、ニュートン本数（製造誤差）の誤差量を7本から10本に更新する。

このように、誤差量テーブルに基づいて、既存の製造状態での光学パラメータの値に付与されている誤差量を、更新または変更するのである。この場合、製造状態作成・更新ステップは、製造状態を更新するステップとなる。

なお、誤差量テーブルの値は、現実の製造能力に基づいて決められている。よって、このような誤差量テーブルを用いて設計を行なえば、現実の製造能力に対応した光学系を得ることが容易になる。また、誤差量テーブルに基づいて誤差量が自動的に決まるので、効率よく設計できるので好ましい。

なお、誤差量テーブルの種類は、1種類でなくても良い。たくさんの種類の誤差量テーブルを作成し、一覧表にしておけばよい。このようにしておけば、設計者がその一覧表を参照しながら、誤差量を付与することができる。また、コンピュータ上に記録し、誤差データベース（以下、誤差DBと略記）として構成しても良い。このようにすれば、設計者が毎回、適切な誤差量を考える必要がなくなる。よって、

光学系の設計を効率化できる。

さらに、本実施形態の製造状態作成・更新ステップは、プログラム化するのが好ましい。このようにすれば、光学設計ソフトウェア（以下、光学 CAD と略記）で利用可能なステップとなる。光学 CAD は、コンピュータ上で利用可能な設計ツールである。よって、上記ステップを、光学 CAD に組み入れることができる。このようにすれば、誤差 DB より誤差量を取得し、この誤差量を用いて光学設計ツール上に、製造状態を新規に作成することができる。あるいは、既存の製造状態を、更新することができる。その結果、誤差の取得から製造状態の作成・更新までを、自動的にできるようにする。よって、光学系の設計を一層効率化できる。

なお、製造状態の作成方法としては、複数の光学パラメータに製造誤差を与えて 1 つの製造状態を作成する方法がある。この場合、本実施形態の製造状態作成・更新ステップは、次のようにすることが望ましい。

まず、設計者は、自身が注目する評価パラメータの種類を少なくとも 1 つ選択する。そして、光学パラメータに付与する製造誤差の種類を選択する。続いて、誤差量テーブルに基づいて、設計状態の光学パラメータの値に誤差量を付与する。

その際、この選択した評価パラメータの値が最悪となるように、誤差量を誤差量テーブルから選択する。なぜなら、付与する誤差量としては、プラスの値とマイナスの値が選択できる（ $+\delta$ 、 $-\delta$ ）。そのため、その組み合わせによっては、全体として製造誤差の影響を打ち消してしまう可能性がある。すなわち、誤差量を付与したにもかかわらず、製造誤差の影響がないという製造状態になる。そこで、評価パラメータの値が最悪となるようにする。このようにすると、付与する誤差量の組み合わせによって製造誤差による影響が打ち消されて製造誤差の影響を見落としてしまう、というような事態を排除することができる。

さらに好ましくは、本実施形態の製造状態作成・更新ステップは、光学パラメータの値に付与する誤差量を、自動的に設定するように構成するのが好ましい。この場合、光学 CAD と誤差 DB とを組み合わせるとよい。

光学 CAD による基本設計が終了すると、設計状態が得られる。この時点で、設計状態の光学パラメータの値は、コンピュータのメモリに保存されている。よって、そのメモリの値を参照すれば、誤差 DB から誤差量を取得することができる。このよ

うにすると、光学パラメータの値に付与する誤差量を、自動的に誤差量テーブルから選択することができる。このように、誤差の取得から製造状態の作成・更新まで自動的にできるようになるので、光学系の設計をより一層効率化できる。なお、誤差量テーブルに基づいて誤差量を付与する際は、所望の評価パラメータの値が最悪となるようにチェックする処理を、合わせて行なうようにしておく。

次に、評価関数作成ステップ（ステップ S 3）と最適化実施ステップ（ステップ S 4）について併せて説明する。まず、評価関数について説明する。一般に、評価関数を用いる光学系の設計方法では、評価関数は少なくとも 1 つの評価パラメータからなっている。また、各評価パラメータは、光学性能などの評価量とウェイトなどからなっている。光学性能の評価量としては、光学パラメータによって決定される収差といったものがある。また、ウェイトは、評価関数全体の中で評価量の重みを設計者が決定する。

例えば、評価関数を F 、評価パラメータを P_i 、評価パラメータの目標値を Q_i 、評価パラメータの重み付けウェイトを W_i とすると、評価関数 F は、

$$F = \sum W_i (P_i - Q_i)^2$$

と表わすことができる。なお、ここでの評価パラメータには、光学性能を表す諸収差や光学系の焦点距離など、光学系の仕様や性能などを用いることができる。

光学設計では、このような評価関数が作成される。そして、この評価関数に対して最適化が行なわれる。この最適化により、最適な光学パラメータの組み合わせが求まる。このような処理を行なうことで、光学系の設計が実施される。ここで、最適化の目的は、与えられた評価関数を使って、目標とする性能、仕様により近い光学パラメータの値を獲得することである。最適化の方法には、上述のように最小二乗法など各種の方法が知られている。ただし、本発明の光学系の設計方法で用いる最適化の方法は、既知のいずれの方法を用いてもよい。なお、最適化の方法の具体的な内容の説明は、本発明と直接関係ないので省略する。

本実施形態の光学系の設計方法では、従来からの設計状態における光学性能などの評価パラメータに加えて、新たな評価パラメータを導入している。この新たな評価パラメータが、製造誤差感度パラメータである。この製造誤差感度パラメータは、製造状態の光学性能などからなる。本実施形態では、この製造誤差感度パラメータ

を導入して、最適化を実施するようにしている。

本実施形態の製造誤差感度パラメータ X は、設計状態の光学性能 y_0 と製造状態の光学性能 y_i よりなる評価パラメータである。これは、一般に、任意の関数 F を使って、

$$X = F(y_0, y_i)$$

で表される量である。

一例として、設計状態 N_0 と製造状態 N_1 、 N_2 の状態から、製造誤差感度パラメータを求める方法を説明する。ここでは、品質工学に基いて求める方法を説明する。設計状態 N_0 に対して、1, 2, ..., k の条件における光学性能 y_{01} , y_{02} , ..., y_{0k} を求める。次に、製造状態 N_1 、 N_2 に対しても、同様に光学性能 y_{11} , y_{12} , ..., y_{1k} , y_{21} , y_{22} , ..., y_{2k} を求める。これを一覧にすると次の表 2 に示すようなテーブルとなる。

表 2

	1	2	...	k
N_0	y_{01}	y_{02}	...	y_{0k}
N_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}
N_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}

なお、ここでの光学性能としては、収差、スポット RMS、MTF、光強度等がある。また、条件には、FNO、NA、物体距離、像高等が挙げられる。

さて、このようなデータテーブルを作成した上で、次の諸パラメータを計算する。諸パラメータの意味については、一般の品質工学の文献に詳述されているので、ここでの説明は省略する。

$$L1 = \sum y_{0j} y_{1j} = y_{01}y_{11} + y_{02}y_{12} + \dots + y_{0k}y_{1k}$$

$$L2 = \sum y_{0j} y_{2j} = y_{01}y_{21} + y_{02}y_{22} + \dots + y_{0k}y_{2k}$$

$$r = \sum y_{0j}^2 = y_{01}^2 + y_{02}^2 + \dots + y_{0k}^2$$

$$S_T = \sum \sum y_{ij}^2 = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1k}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2k}^2$$

$$S_\beta = (L1 + L2)^2 / 2r$$

$$S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / r - S_\beta$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

$$f_e = 2k - 2$$

$$f_N = 2k - 1$$

$$V_e = S_e / f_e$$

$$V_N = (S_{N \times \beta} + S_e) / f_N$$

上記の諸パラメータから、製造誤差感度パラメータ X を次のようにして求めることができる。

$$X = 10 \log \{ (S_\beta - V_e) / V_N \}$$

この製造誤差感度パラメータは、製造誤差の安定性を表し、製造の影響を受け難くなるほど値が大きくなる性質を持っている。このように、製造誤差感度パラメータを用いると、製造誤差の影響の程度を簡単に把握することができるようになり、設計を効率的に行うことができるようになる。ここで、製造誤差感度パラメータは、設計状態と製造状態とから、製造誤差の影響の程度を表している

さて、製造誤差感度パラメータを組み込んだ評価関数を、 F' とする。そして、先に説明した評価関数 F とあわせて、新たに評価関数 F' を

$$F' = F + \sum w_j (X_j - Y_j)$$

として作成する。但し、 X_j は製造誤差感度パラメータ、 Y_j は製造誤差感度パラメータの目標値、 w_j は製造誤差感度パラメータの重み付けウェイトである。

このような評価関数 F' を作成すると、製造誤差の影響を含んだ状態で、光学系の最適化が実施可能となる。その結果、製造誤差の影響を受け難い光学パラメータを、効率よく得ることができる。

また、コンピュータ上で処理できるように、評価関数をプログラムに組み込む。そして更に、最適化をコンピュータで実行するように各ステップを構成する。このようにすると、より効率的に光学系の設計を行うことができる。

最後に、結果判定ステップ（ステップ S 5）において、最適化によって得た光学系が所望の仕様や性能などを満たしているかどうか判断する。ここで、光学系が所望の仕様や性能となっていれば設計を終了する。一方、そうでない場合は、製造状態作成・更新ステップ、あるいは、初期値設定ステップに戻る。そして、光学系の設計処理を繰り返す。

次に、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

第 1 実施例

図 1 は、光学系の設計方法の第 1 実施例を示している。ここでは、設計手順の全

体を示すフローチャートを示している。

本実施例の光学系の設計方法では、まず、初期値設定ステップにおいて、設計状態での光学パラメータの値を設定する（ステップ S 1）。この設計状態では、製造誤差は考慮されていない。

次に、製造状態作成・更新ステップにおいて、設計状態の光学パラメータの値に、製造誤差の誤差量を付与する。あるいは、製造状態における光学パラメータの値を付与された誤差量に代えて、あらたな誤差量を付与する。この場合は、誤差量の更新になる。これにより、製造状態での光学パラメータの値が設定される（ステップ S 2）。この誤差量は、誤差 DB を参照することで、自動的に決定される。

次に、評価関数作成ステップにおいて、所望の仕様や性能要求を満たすように、評価関数の評価パラメータの種類を決定する。その際、その目標値と重み付けウェイトを付与する。このようにして、評価関数を決定する（ステップ S 3）。

次に、最適化実施ステップにおいて、所定の評価関数に基いて最適化を実施する。そして、評価関数に最適な光学パラメータを求める（ステップ S 4）。なお、評価関数は、不図示の評価関数作成ステップで作成される。

次に、結果判定ステップにおいて、最適化実施ステップで得た光学パラメータから、光学系の仕様や性能が所望の仕様・性能となっているか否かを判定する（ステップ S 5）。結果判定ステップにおいて、所望の仕様・性能となっている光学パラメータが得られた場合には、光学系の設計を終了する。一方、所望の仕様・性能となっていない場合は、現在の光学パラメータのまま製造状態作成・更新ステップへと戻る。製造状態作成・更新ステップへ戻ると、製造状態での光学パラメータの誤差量が更新される。そして更新された誤差量で、設計処理が継続する。なお、設計状態の光学パラメータの値に何らかの変更を施す必要がある場合には、初期値設定ステップへと戻る。

第 1 実施例の光学系の設計処理手順によれば、製造誤差を考慮に入れながら、光学設計を効率よく行うことができるようになる。その結果、製造誤差の影響が少ない光学系が、容易に得られるようになる。また、歩留まりが向上し、製造コストを抑えることができる。

第 2 実施例

図 2 は、光学系の設計方法の第 2 実施例を示している。ここでは、最適化実施ステップの具体的な処理手順を、フローチャートで示している。

本実施例の最適化実施ステップでは、まず、設定されている光学パラメータの値に基づいて、評価関数の値 E_0 を計算し記憶する（ステップ S 1 1）。次に、評価関数に基づき最適化を実行し、光学パラメータの値を変更して設定する（ステップ S 1 2）。

次に、変更後の光学パラメータの値に基づいて、評価関数の値 E_1 を計算し記憶する（ステップ S 1 3）。

次に、記憶された評価関数の値 E_0 、 E_1 から、評価関数の改善度 $\Delta E = -E_1 - E_0$ を計算する（ステップ S 1 4）。ここで、 ΔE は、最適化実施前からどの程度改善されているかを判断するための指標である。この指標 ΔE は、評価関数に最適な光学系に近づいているか否かを示している。また、ステップ S 1 4 では、あらかじめ設けた判断基準値 E_c よりも改善度が大きいかな否かを判断する。

指標 ΔE が、あらかじめ設けた判断基準値 E_c よりも改善度が小さい、即ち、 $\Delta E < E_c$ となっているとする。この場合には、これ以上、最適化を実行しても評価関数の著しい改善につながらないと判断し、最適化を終了する。

一方、指標 ΔE が、あらかじめ設けた判断基準値 E_c よりも改善度が小さくない、即ち、 $\Delta E \geq E_c$ となっているとする。この場合には、製造状態の更新（ステップ S 1 5）を行なう。そして、ステップ S 1 1 へと戻り、以後同様の処理を繰り返す。なお、以後のステップ S 1 4 では、製造状態の更新部分のみを使用する。

第 2 実施例の最適化実施処理手順によれば、最適化を行う段階で変化していく光学パラメータに適した誤差量を与えていくことができる。

第 3 実施例

図 3 は、光学系の設計方法の第 3 実施例を示している。ここでは、製造状態作成・更新ステップの具体的な処理手順を、フローチャートに示している。

本実施例の製造状態作成・更新ステップでは、まず、製造状態の有無を判断する（ステップ S 2 1）。製造状態が作成されていない場合は、後述するステップ S 2 8 以降の処理を行う。

一方、既に製造状態が作成されている場合は、製造状態の更新を行なう。そこで、製造状態の数だけ、ステップ S 2 2 ～ステップ S 2 7 の処理を繰り返す。また、1

つの製造状態に付与されている製造誤差の数だけ、ステップS 2 3～ステップS 2 6の処理を繰り返す。即ち、ステップS 2 2では、製造状態の最大数をパラメータ I_{\max} に格納する。そして、更新の対象になっている製造状態を特定する。製造状態番号 i は、 I_{\max} 個ある製造状態のうち、更新の対象になっている製造状態を示す。

ステップS 2 3では、製造誤差の最大数をパラメータ J_{\max} に格納する。このときの製造誤差は、更新の対象になっている製造状態に、付与されている製造誤差である。そして、更新の対象になっている製造誤差を特定する。製造誤差番号 j は、 J_{\max} 個ある製造誤差のうち、更新の対象になっている製造誤差を示す。

この製造誤差番号 j は、以下の情報を有する。それは、製造誤差の種類、その製造誤差が付与されている光学パラメータの種類、及びその光学パラメータにおいて製造誤差が付与されている個所を示している。例えば下表3では、製造誤差番号1は、製造誤差がニュートン誤差で、ニュートン誤差が付与されているのは曲率半径で、ニュートン誤差は光学系の第1面に付与されていることを示している。

表 3

製造誤差番号： j	製造誤差の種類	光学パラメータ	付与個所
1	ニュートン本数	曲率半径	第1面
2	アス	曲率半径	第2面
...
J_{\max}	厚み誤差	中心肉厚	第3レンズ

ステップ2 4では、製造誤差取得要件を取得し、保存する。この点について説明する。上述のように、製造誤差番号 j は、製造誤差の種類、光学パラメータの種類、及び付与個所に関する情報を有している。よって、付与個所の情報から、その付与個所における光学パラメータの値（例えば、第1面の曲率半径 r の値）を知ることができる。すなわち、製造誤差番号 j の情報から、誤差テーブルを構成する製造誤差取得要件を取得することができる。

ステップS 2 5では、ステップ2 4で取得した製造誤差取得要件に基づいて、誤差量テーブルを参照する。参照により得られた誤差量を、新たな誤差量として付与する。すなわち、誤差量の更新を行なう。

ステップS 2 6では、現在の誤差番号 j に1を加算したものを、新たな誤差番号とする。そして、新たな誤差番号 j が、誤差数 J_{\max} を上回るか否かを判断する。新たな誤差数 j が誤差数 J_{\max} を上回ったときには、ステップS 2 7の処理を行う。一方、

上回らないときには、ステップS 2 3からの処理を繰り返す。

ステップS 2 7では、現在の製造状態番号 i に 1 を加算したものを、新たな製造状態番号とする。そして、新たな製造状態番号 i が、製造状態数 I_{\max} を上回るか否かを判断する。新たな製造状態番号 i が製造状態数 I_{\max} を上回ったときには、ステップS 2 8の処理を行う。一方、上回らないときには、ステップS 2 2からの処理を繰り返す。

次に、ステップS 2 8において、新たに製造状態を作成するか否かを判断する。

製造状態を作成しない場合には、製造状態作成・更新処理を終了する。一方、製造状態を作成する場合には、ステップS 2 9からの処理を行う。

ステップS 2 9では、製造状態の雛型を作成する。ここで、製造状態の雛型とは、設計状態のコピーである。すなわち、製造状態の雛型における光学パラメータの値は、設計状態の光学パラメータの値と同一である。製造状態は、設計状態に製造誤差が加わったものである。そのため、設計状態が 1 つだと、製造誤差を加えることにより、設計状態がなくなってしまう。そこで、設計状態と同一の状態のもの、すなわち雛型を多数作成しておく。このようにしておけば、設計状態は必ず 1 つ残すことができる。

次に、追加する誤差の種類と場所を設定し、製造誤差取得要件を取得、保存する（ステップS 3 0）追加する誤差の種類と場所の設定には、上記表 3 を用いる。

次に、取得した製造誤差取得要件から誤差量テーブルを参照して誤差量を取得する。そして、誤差を製造状態の雛型における光学パラメータに付与し、これを現在の製造状態とする（ステップS 3 1）。

次に、現在の製造状態での光学パラメータにおいて、他の誤差を新たに追加するか否かを判断する（ステップS 3 2）。

他の誤差を追加しない場合には、次のステップS 3 3からの処理を行う。一方、他の誤差を追加する場合には、ステップS 3 0に戻り、それ以降の処理を再度行う。

ステップS 3 3では、更に新たな製造状態を作成する、すなわち別の製造状態を追加するか否かを判断する。

新たな製造状態を作成しない場合には、製造状態作成・更新処理を終了する。一方、新たな製造状態を作成する場合には、ステップS 2 9に戻り、それ以降の処理

を再度行う。

第3実施例の製造状態作成・更新処理手順によれば、既存の製造状態の更新と同時に、新たに製造状態を付与することを、効率的に行うことができ、設計の効率化を図ることができる。

第4実施例

図4は、光学系の設計方法の第4実施例を示している。ここでは、製造誤差作成・更新ステップの具体的な処理手順を、フローチャートに示している。本実施例の製造誤差作成・更新ステップでは、第3実施例とほぼ同様な処理手順となっている。ただ、第3実施例のステップS25に代えて、誤差量テーブルを記録した誤差DBを利用するステップ（ステップS25'）を用いている。

ステップS25'では、付与されている誤差の種類と箇所から、設計状態の製造誤差取得要件をデータベースに入力する。このようにすることで、付与すべき誤差量をデータベースより取得し、現在の誤差の値を更新する。

第4実施例の製造誤差作成・更新処理手順によれば、誤差量テーブルの参照を、コンピュータを利用して効率的に行うことができる。そのため、既存の製造状態の更新と同時に新たに製造状態を付与することが、より一層効率的に行うことができる。よって、光学系の設計の効率化を、より一層図ることができる。

第5実施例

光学系の設計方法の第5実施例を示す。ここでは、製造誤差感度パラメータを求める場合の例を示している。本実施例では、設計状態 N_0 と製造状態 N_1 、 N_2 がある場合に、製造誤差感度パラメータを求める例である。

まず、設計状態 N_0 に対して、1, 2, ..., k の条件における光学性能 y_{01} , y_{02} , ..., y_{0k} を求める。次に、製造状態 N_1 、 N_2 に対しても、設計状態 N_0 と同様に、光学性能 y_{11} , y_{12} , ..., y_{1k} , y_{21} , y_{22} , ..., y_{2k} を求める。これを一覧にすると、下表4のようなテーブルとなる。

表 4

	1	2	...	k
N_0	y_{01}	y_{02}	...	y_{0k}
N_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}
N_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}

なお、ここでの光学性能には、収差、スポット RMS、MTF、光強度などがある。また、条件付けには、FNO、NA、物体距離、像高などの条件がある。

さて、このようなデータテーブルが作成された上で、次の諸パラメータを計算する。

$$L1 = \sum y_{0j} y_{1j} = y_{01}y_{11} + y_{02}y_{12} + \dots + y_{0k}y_{1k}$$

$$L2 = \sum y_{0j} y_{2j} = y_{01}y_{21} + y_{02}y_{22} + \dots + y_{0k}y_{2k}$$

$$r = \sum y_{0j}^2 = y_{01}^2 + y_{02}^2 + \dots + y_{0k}^2$$

$$S_T = \sum \sum y_{ij}^2 = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{1k}^2 + y_{21}^2 + y_{22}^2 + \dots + y_{2k}^2$$

$$S_\beta = (L1 + L2)^2 / 2r$$

$$S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / r - S_\beta$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

$$f_e = 2k - 2$$

$$f_N = 2k - 1$$

$$V_e = S_e / f_e$$

$$V_N = (S_{N \times \beta} + S_e) / f_N$$

上記の諸パラメータから、製造誤差感度パラメータ X を次のようにして求める。

$$X = 10 \log \{ (S_\beta - V_e) / V_N \}$$

第6実施例

光学系の設計方法の第6実施例を示す。ここでも、製造誤差感度パラメータを求める場合の別の例を示している。本実施例では、設計状態 N_0 と製造状態 N_1 、 N_2 の状態がある。更に、製造状態 N_1 、 N_2 に付与されている誤差は、 N_1 には $A + \delta$ 、 N_2 には $A - \delta$ となっている。このような場合に、製造誤差感度パラメータを求める例である。

まず、設計状態 N_0 に対して、1, 2, ..., k の条件における光学性能 y_{01} , y_{02} , ..., y_{0k} を求める。次に製造状態 N_1 、 N_2 に対しても、設計状態 N_0 と同様に光学性能 y'_{11} , y'_{12} , ..., y'_{1k} , y'_{21} , y'_{22} , ..., y'_{2k} を求める。これを一覧にすると、次の表5のようなテーブルとなる。

表 5

	1	2	...	k
N ₀	y ₀₁	y ₀₂	...	y _{0k}
N ₁	y' ₁₁	y' ₁₂	...	y' _{1k}
N ₂	y' ₂₁	y' ₂₂	...	y' _{2k}

なお、ここでの光学性能には、収差、スポット RMS、MTF、光強度などがあり、条件付けには、FNO、NA、物体距離、像高などの条件がある。

さて、このようなデータテーブルが作成された上で、次の諸パラメータを計算する。

$$L1 = \sum y_{0j} y'_{1j} = y_{01}y'_{11} + y_{02}y'_{12} + \dots + y_{0k}y'_{1k}$$

$$L2 = \sum y_{0j} y'_{2j} = y_{01}y'_{21} + y_{02}y'_{22} + \dots + y_{0k}y'_{2k}$$

$$r = \sum y_{0j}^2 = y_{01}^2 + y_{02}^2 + \dots + y_{0k}^2$$

$$S_T = \sum \sum y'_{ij}^2 = y'_{11}^2 + y'_{12}^2 + \dots + y'_{1k}^2 + y'_{21}^2 + y'_{22}^2 + \dots + y'_{2k}^2$$

$$S_\beta = (L1 + L2)^2 / 2r$$

$$S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / r - S_\beta$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

$$f_e = 2k - 2$$

$$f_N = 2k - 1$$

$$V_e = S_e / f_e$$

$$V_N = (S_{N \times \beta} + S_e) / f_N$$

上記の諸パラメータから、製造誤差感度パラメータ X を次のようにして求める。

$$X = 10 \log \{ (S_\beta - V_e) / V_N \}$$

第 7 実施例

光学系の設計方法の第 7 実施例を示す。ここでも、製造誤差感度パラメータを求める場合の別の例を示している。

本実施例では、設計状態 N₀ と製造状態 N₁ がある場合に、製造誤差感度パラメータを求める例である。まず、設計状態 N₀ に対して、1, 2, ..., k の条件における光学性能 y₀₁, y₀₂, ..., y_{0k} を求める。次に、製造状態 N₁ に対しても、設計状態 N₀ と同様に、光学性能 y'₁₁, y'₁₂, ..., y'_{1k} を求める。製造状態 N₁ では、A + δ の誤差が付与されている。ここで、誤差量は微小なので、A - δ の誤差を付与した場合の製造

状態 N_2 の性能を推定できる。よって、製造状態 N_2 に対して、光学性能 y''_{21} , y''_{22} , \dots , y''_{2k} は、 $y''_{2j} = 2y_{02} - y'_{1j}$ として求めることができる。これを一覧にすると、次の表 6 のようなテーブルとなる。

表 6

	1	2	...	k
N_0	y_{01}	y_{02}	...	y_{0k}
N_1	y'_{11}	y'_{12}	...	y'_{1k}
N_2	y''_{21}	y''_{22}	...	y''_{2k}

なお、ここでの光学性能には、収差、スポット RMS、MTF、光強度などがあり、条件付けには、FNO、NA、物体距離、像高などの条件がある。

さて、このようなデータテーブルが作成された上で、次の諸パラメータを計算する。

$$L1 = \sum y_{0j} y'_{1j} = y_{01} y'_{11} + y_{02} y'_{12} + \dots + y_{0k} y'_{1k}$$

$$L2 = \sum y_{0j} y''_{2j} = y_{01} y''_{21} + y_{02} y''_{22} + \dots + y_{0k} y''_{2k}$$

$$r = \sum y_{0j}^2 = y_{01}^2 + y_{02}^2 + \dots + y_{0k}^2$$

$$S_T = \sum \sum y_{ij}^2 = y'_{11}^2 + y'_{12}^2 + \dots + y'_{1k}^2 + y''_{21}^2 + y''_{22}^2 + \dots + y''_{2k}^2$$

$$S_\beta = (L1 + L2)^2 / 2r$$

$$S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / r - S_\beta$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

$$f_e = 2k - 2$$

$$f_N = 2k - 1$$

$$V_e = S_e / f_e$$

$$V_N = (S_{N \times \beta} + S_e) / f_N$$

上記の諸パラメータから、製造誤差感度パラメータ X を次のようにする。

$$X = 10 \log \{ (S_\beta - V_e) / V_N \}$$

図 5 は、本発明方法を実施するための処理装置の構成を示したもので、本発明の設計方法に必要な情報を入力するための入力部 1 と、本発明の設計方法に必要な演算を行なう演算部 2 と、この演算部 2 で処理された結果を記憶しておく記憶部 3 と、演算結果を設計者に理解可能な形で出力するための出力部 4 と、からなる。

入力部 1 より入力された情報は、一旦演算部 3 へ伝達されて情報の種別と値を判

断し、必要に応じて記憶部 3 に情報を保存する。記憶部 3 では、演算部 2 の指示により、記憶部 3 の特定領域に記憶部 3 の中味を保存しておく。演算部 2 では、本方法の実行段階に応じて、記憶部 3 より必要な情報を呼び出し、演算を実行し、その実行結果を記憶部 3 に保存する。最終的には、本方法の適用の結果、得られた情報を記憶部 3 より呼び出して、演算部 2 で設計者に理解可能な状態に加工して、出力部 4 に情報を提供する。出力部 4 では、演算部 3 より伝達された情報に基づいて、設計者に提示する。

次に、この構成で、実際に本発明方法を実施した場合を実施例 1 を用いて説明する。

まず、実施例 1 のフロー開始の事前準備として、誤差量など本方法実行中に不変な緒情報を入力部 1 より入力し、記憶部 3 の緒情報の専用保存領域に情報を保存する。例えば、誤差量では、入力部 1 より誤差量の値を入力し、演算部 2 で演算を行なって誤差量 DB を作成し、記憶部 3 に誤差量 DB の情報を保存する。

ステップ 1 では、設計状態の光学パラメータを入力部 1 より入力し、設計状態の光学パラメータ保存領域に情報を保存する。

ステップ 2 では、設計状態の光学パラメータと誤差量 DB を演算部 2 に呼び出す。演算部 2 では、光学パラメータのそれぞれに対して、誤差量 DB の情報を参照しながら、製造状態の光学パラメータを生成するか、あるいは、既に存在する製造状態の光学パラメータを更新する。

ステップ 3 では、入力部 1 より評価関数のパラメータとそのウエイトを入力し、演算部 2 で入力された評価関数のパラメータとそのウエイトに基づいて評価関数を作成する。演算部 2 で作成した評価関数は、記憶部 3 の評価関数保存領域に保存する。

ステップ 4 では、記憶部 3 にある設計状態の光学パラメータと製造状態の光学パラメータと評価関数を演算部 2 に呼び出して、演算部 2 で呼び出した評価関数に基づいて最適化演算を実施する。得られた設計状態の光学パラメータと製造状態の光学パラメータを記憶部 3 の各領域に保存し、情報を更新する。

ステップ 5 では、設計状態の光学パラメータや製造状態の光学パラメータを記憶部 3 から演算部 2 に呼び出して、予め定められた情報出力形態となるように、設計

状態の光学パラメータや製造状態の光学パラメータからの情報を加工して、出力部 4 に転送する。出力部 4 では、加工された情報を元に設計者へ情報を提示する。

設計者は、出力部 4 により示された情報を元に、所望の仕様及び性能となっているかどうかの判断を行なう。設計者の所望する仕様及び性能の範囲となっていれば、設計を完了する。所望の仕様及び性能の範囲となっていなければ、ステップ 2 あるいはステップ 3 に戻って、再度上記手順を繰り返す。

請求の範囲

1. 評価関数を用いる光学系の設計方法において、製造誤差を考慮しない設計状態での光学パラメータを設定する初期値設定ステップと、設計状態での光学パラメータに製造誤差を加えたものを製造状態での光学パラメータとして作成するか、あるいは、既存の製造状態での光学パラメータの製造誤差を更新する製造状態作成・更新ステップと、評価関数を作成する前記評価関数作成ステップと、評価関数を最適化して最適な光学パラメータを求める最適化実行ステップとを有する光学系の設計方法。
2. 前記製造状態作成・更新ステップにおいて、製造誤差量取得要件に応じ、あらかじめ設けておいた誤差量テーブルの値に基づいて、付与すべき製造誤差の量を取得し、この誤差量を設計状態での光学パラメータに付与し、新たに製造状態での光学パラメータを作成する、あるいは、設計状態での光学パラメータの変化に伴い、既存の製造状態での光学パラメータに付与済みの誤差量の値を更新するようにした請求の範囲 1 に記載の光学系の設計方法。
3. 前記評価関数作成ステップにおいて、前記評価関数の評価パラメータに加えて、前記設計状態と製造状態の光学性能に基づいて求められる製造誤差感度パラメータを評価パラメータとして少なくとも 1 つ含めるようにした請求の範囲 1 に記載の光学系の設計方法。
4. 光学パラメータの値として、設計状態における値を設定する初期値設定ステップと、光学パラメータの値として、製造状態における値を設定する製造状態作成ステップと、製造状態を変数とする評価関数を作成する評価関数作成ステップと、評価関数を最適化する最適化実行ステップとを有し、製造状態における値は、設計状態における値に、所定の誤差量を加えることにより設定される光学系の設計方法。

5. 誤差量は、誤差量テーブルの値に基づいて決まる請求の範囲 4 に記載の光学系の設計方法。
6. 誤差量テーブルの値は、現実の製造能力に基づいて設定される請求の範囲 5 に記載の光学系の設計方法。
7. 誤差量テーブルは、製造誤差の種類と光学パラメータの種類を組み合わせて構成されている請求の範囲 5 に記載の光学系の設計方法。
8. 製造誤差の種類は、ニュートン誤差、アス、肉厚誤差、ティルト偏心、シフト偏心のうち少なくとも 1 つを含む請求の範囲 5 に記載の光学系の設計方法。
9. 光学パラメータの種類は、曲率半径、レンズ厚、レンズ間隔のうち少なくとも 1 つを含む請求の範囲 5 に記載の光学系の設計方法。
10. 前記誤差テーブルにおいて、光学パラメータの取り得る範囲は、複数の数値区間に分かれている請求の範囲 5 に記載の光学系の設計方法。
11. 複数の数値区間の各々に対して、誤差量が設定されている請求の範囲 10 に記載の光学系の設計方法。
12. 製造状態更新ステップを更に備え、製造状態更新ステップは、設計状態における光学パラメータの値の変化に伴い、誤差量テーブルに基づいて新たな製造誤差に更新される請求の範囲 4 に記載の光学系の設計方法。
13. 請求項 1 に記載の光学系の設計方法を実行する演算部と、該演算に必要な情報を入力する入力部と、演算結果を出力する出力部と、演算結果を記憶する記憶部を有する処理装置。

図1

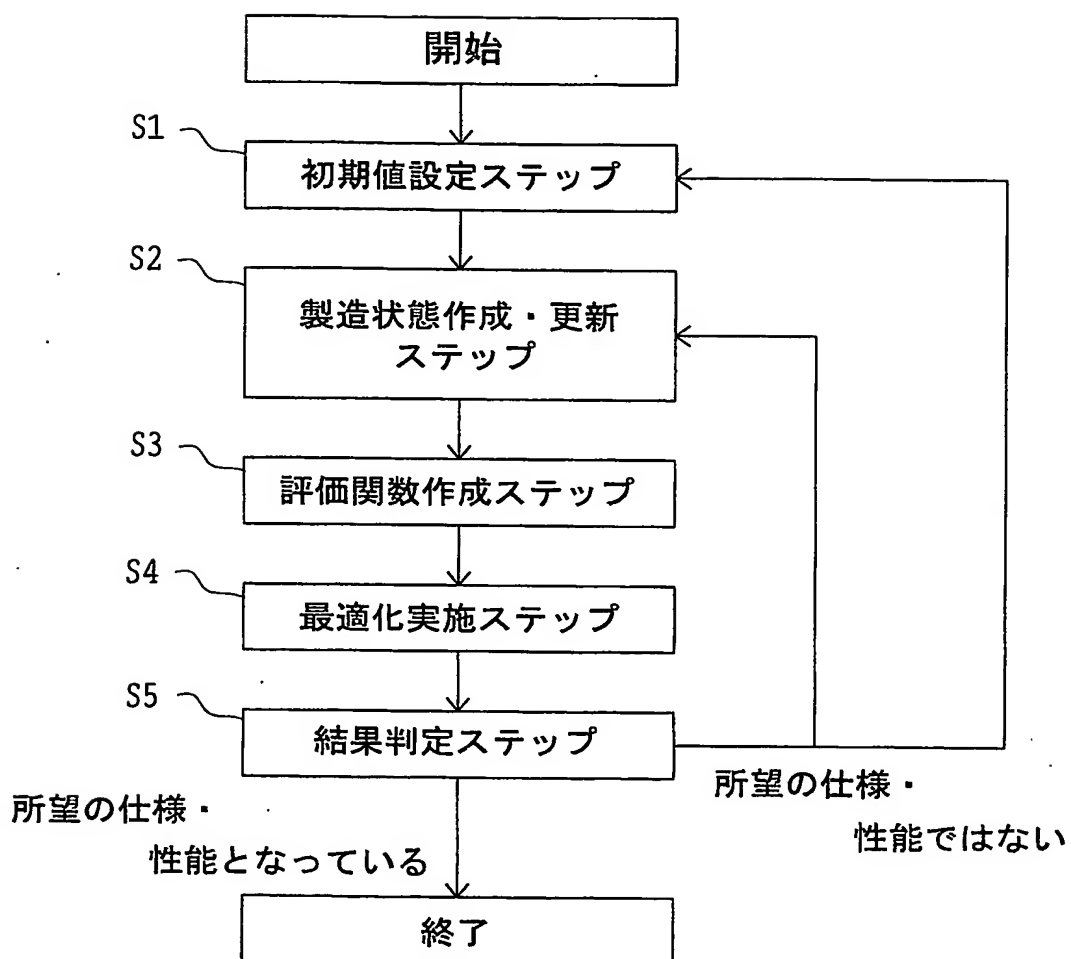


図2

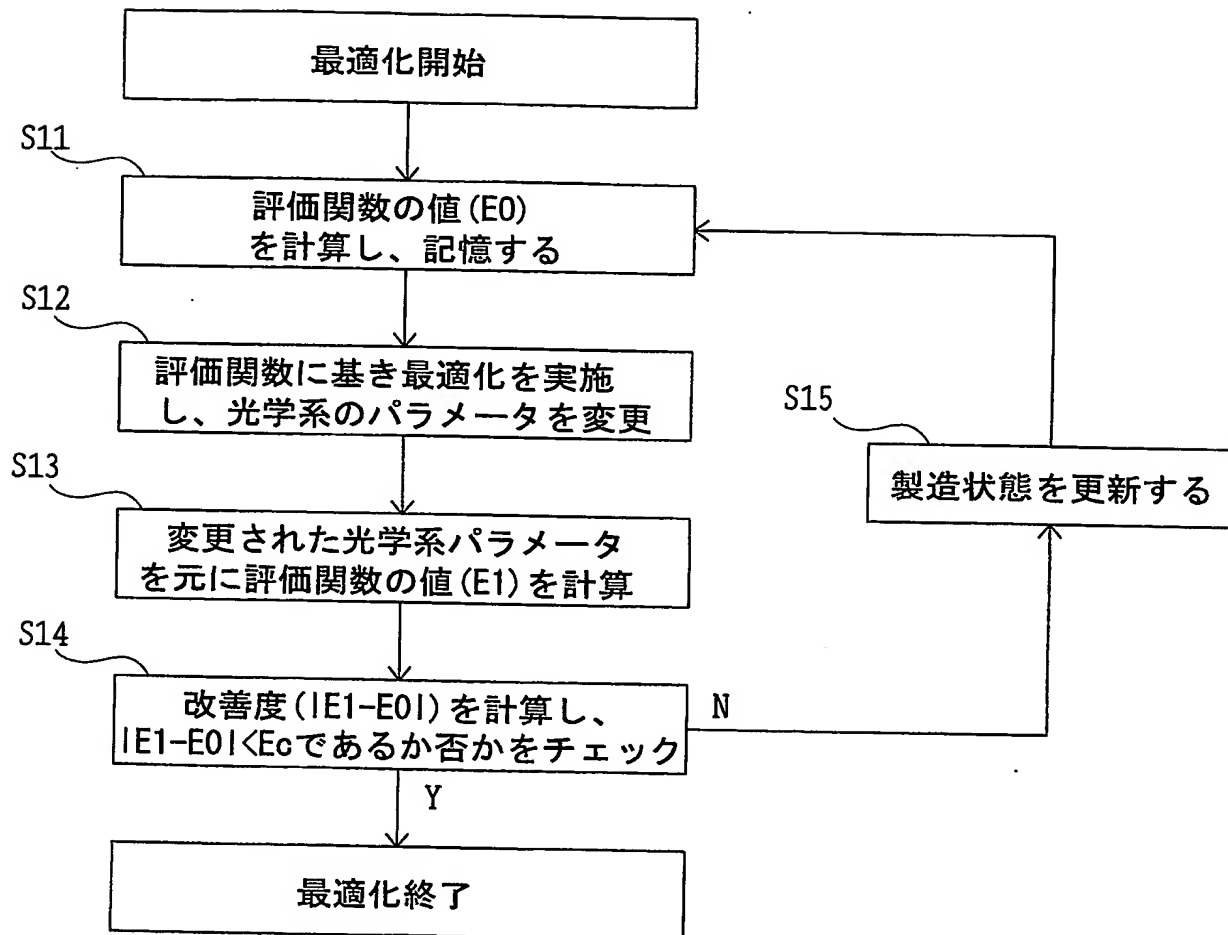


図3

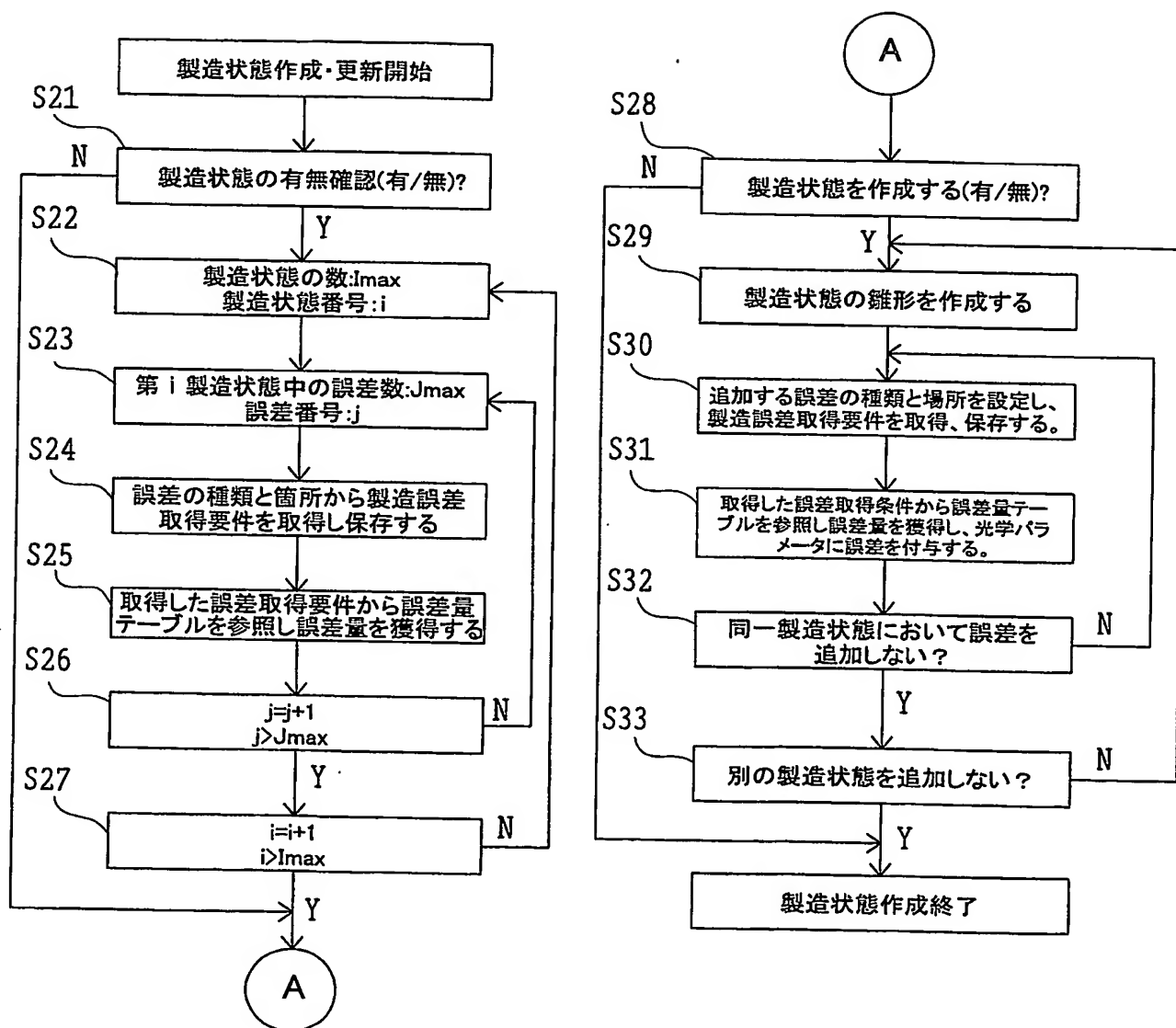


図4

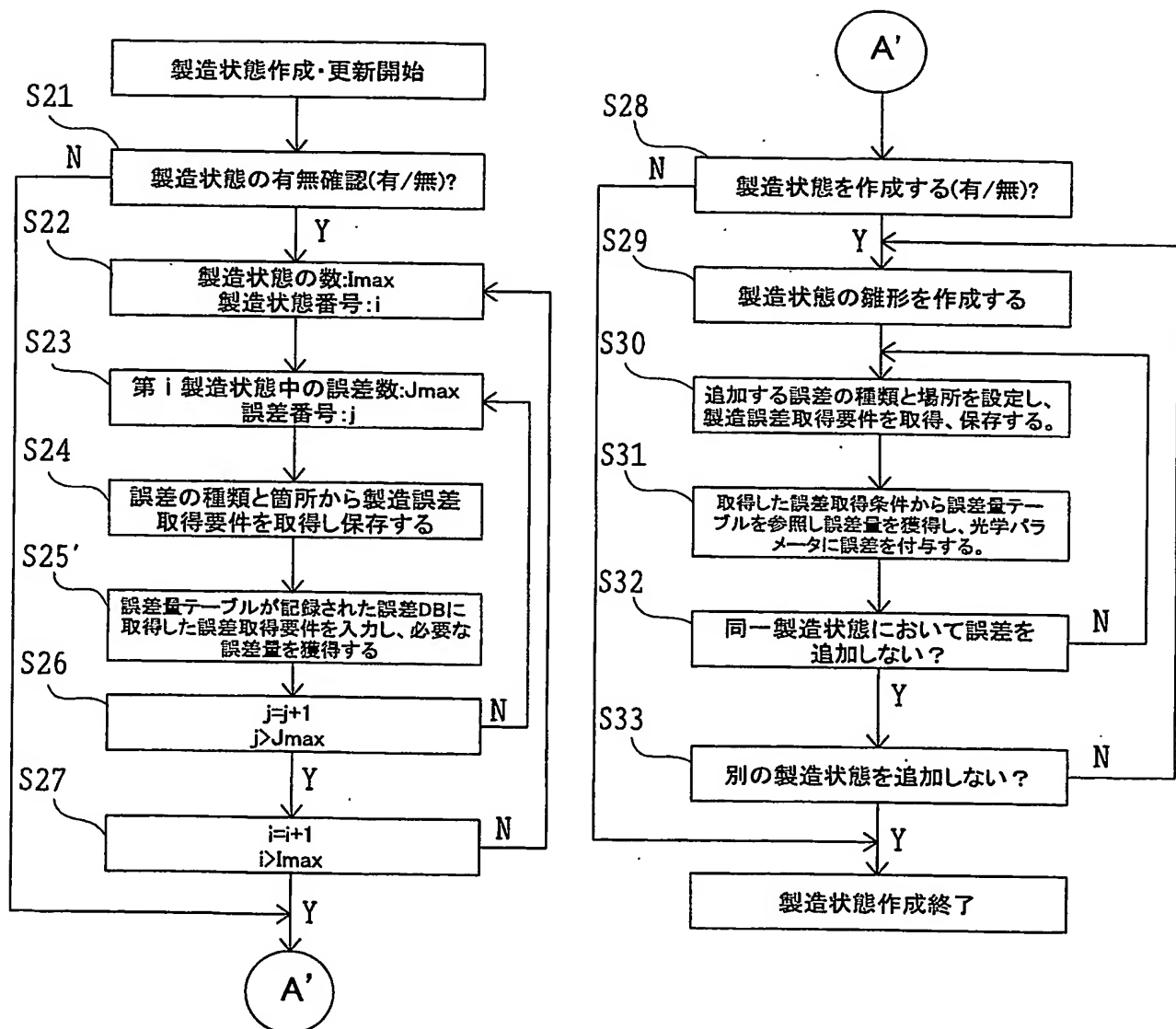
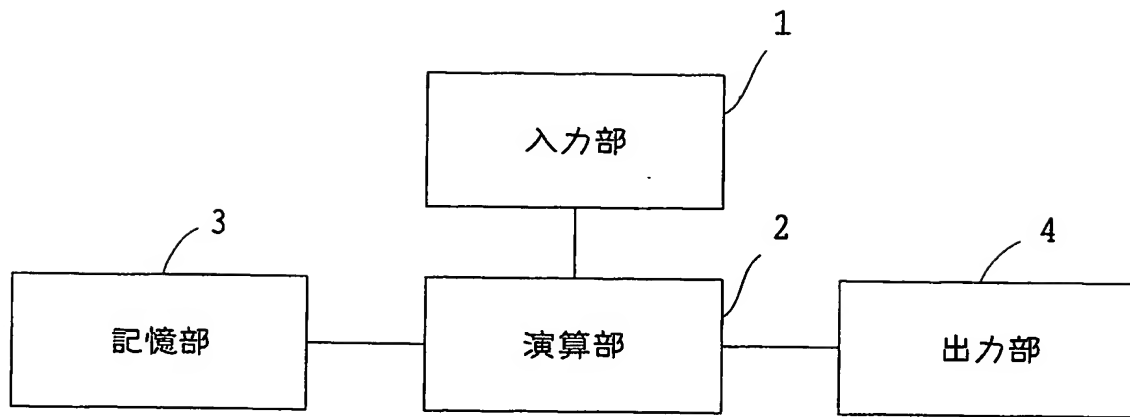


図5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005417

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B13/00, G06F17/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B13/00, G06F17/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 11-316338 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 16 November, 1999 (16.11.99), Full text; all drawings & EP 940702 A2 & US 2002/0183994 A1 & US 6567226 B2	1, 4, 13 3 2, 5-12
Y	JP 11-30746 A (Minolta Co., Ltd.), 02 February, 1999 (02.02.99), Full text; all drawings & US 6081385 A	1, 3-4
Y	JP 2002-267926 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 18 September, 2002 (18.09.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"J" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 July, 2004 (26.07.04)Date of mailing of the international search report
10 August, 2004 (10.08.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005417

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-48673 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 15 February, 2002 (15.02.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. G02B 13/00, G06F 17/50

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. G02B 13/00, G06F 17/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2004年
日本国登録実用新案公報 1994-2004年
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使った電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示.	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 11-316338 A (住友電気工業株式会社) 1999. 11. 16、全文、全図 & EP 940702 A2 & US 2002/0183994 A1 & US 6567226 B2	1, 4, 13 3 2, 5-12
Y	JP 11-30746 A (ミノルタ株式会社) 1999. 02. 02、全文、全図 & US 6081385 A	1, 3-4
Y	JP 2002-267926 A (オリンパス光学工業株式会社) 2002. 09. 18、全 文、全図 (ファミリーなし)	1, 3-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26. 07. 2004

国際調査報告の発送日 10. 8. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
森内 正明

2V 9222

電話番号 03-3581-1101 内線 3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-48673 A (オリンパス光学工業株式会社) 2002.02.15、全文、全図 (ファミリーなし)	1, 3-4